

## Hubungan Nilai CBR Laboratorium dengan Pemadatan *Modified* dan Nilai *Dynamic Cone Penetrometer* (DCP) di Lapangan

Riant Pandu P <sup>1)</sup>  
Andius Dasa Putra <sup>2)</sup>  
Rahayu Sulistyorini <sup>3)</sup>  
Lusmeilia Afriani <sup>4)</sup>

### Abstract

*Soil is an important part of civil engineering construction work. The strength of the base soil is essential to sustain the construction load. Some ways to estimate CBR values are with soil grading and soil plasticity data. But in the field, many obstacles are faced so often done DCP (Dynamic Cone Penetrometer) test. This study was conducted to find out the relationship equation between laboratory CBR and DCP and its comparison with the SNI equation.*

*The study was conducted by testing the soil in Teluk Ratai, Pesawaran at three points with laboratory CBR test (Unsoaked), DCP mould, and field DCP. Soil samples were compacted with compaction variations of 10, 25, and 56 collisions and optimum water content of 22.95% obtained from compaction tests with modified proctors. The results showed the correlation equation of Laboratory CBR with  $\gamma_d$  is  $y = 30.878x - 26.98$  with the correlation of CBR and DCP equations obtained  $\text{Log (CBR)} = 2.26557 - 0.807 \text{ Log (DCP)}$ . When compared to the CBR value of the CBR SNI equation, the CBR values of the CBR and DCP equations have a higher value.*

*Keywords: soil, bearing capacity, CBR Laboratories, DCP.*

### Abstrak

Tanah merupakan salah satu bagian penting dalam pekerjaan konstruksi teknik sipil. Kekuatan tanah dasar sangat penting guna menopang beban konstruksi. Beberapa cara untuk mengestimasi nilai CBR adalah dengan *soil grading* dan data plastisitas tanah. Namun pada kenyataannya di lapangan, banyak kendala yang dihadapi maka seringkali dilakukan uji DCP (*Dynamic Cone Penetrometer*). Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui persamaan hubungan antara CBR laboratorium dan DCP serta perbandingannya dengan persamaan SNI.

Penelitian dilakukan dengan menguji tanah di Teluk Ratai Kabupaten Pesawaran pada tiga titik dengan pengujian CBR laboratorium (*Unsoaked*), DCP *mould*, dan DCP lapangan. Sampel tanah dipadatkan dengan variasi pemadatan 10, 25, dan 56 tumbukan dan kadar air optimum sebesar 22,95% yang didapat dari uji pemadatan dengan *proctor modified*. Hasil penelitian menunjukkan persamaan korelasi CBR Laboratorium dengan  $\gamma_d$  adalah  $y = 30,878x - 26,98$  dengan korelasi persamaan CBR dan DCP didapat  $\text{Log (CBR)} = 2,26557 - 0,807 \text{ Log (DCP)}$ . Bila dibandingkan dengan nilai CBR hasil persamaan CBR SNI, nilai CBR dari persamaan CBR dan DCP memiliki nilai yang lebih tinggi.

Kata kunci : tanah, daya dukung, CBR laboratorium, DCP lapangan.

---

<sup>1)</sup> Mahasiswa S1 pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung.  
Surel: rp2\_2496@yahoo.co.id

<sup>2)</sup> Dosen pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan. Prof. Sumantri Brojonegoro No.1 . Gedong Meneng Bandar Lampung. 35145.

<sup>3)</sup> Dosen pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan. Prof. Sumantri Brojonegoro no. 1. Gedong Meneng Bandar Lampung. 35145.

<sup>4)</sup> Dosen pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan. Prof. Sumantri Brojonegoro no. 1. Gedong Meneng Bandar Lampung. 35145.

## **I. PENDAHULUAN**

Setiap aspek pembangunan, tanah selalu memiliki peran penting. Tanah melakukan perannya dalam bidang konstruksi sebagai salah satu komponen maupun sebagai tempat suatu konstruksi berdiri. Begitu pentingnya peranan tanah, maka perlu dipastikan bahwa tanah tempat konstruksi berdiri harus memiliki kemampuan untuk mendukung/memikul beban konstruksi di atasnya (daya dukung tanah).

Untuk mengetahui nilai daya dukung tanah dasar salah satu metode yang dapat digunakan adalah dengan melakukan pengujian CBR (*California Bearing Ratio*). Meski pengujian CBR dapat dilakukan di laboratorium, namun pada saat proses pengambilan sampel tanah dilapangan seringkali menemui beberapa kesulitan terkait dengan kondisi wilayah, jarak lokasi dengan laboratorium, keterbatasan transportasi dan ketersediaan alat pengujian. Maka dari itu, diperlukan alternatif pengujian untuk mendapatkan nilai CBR dengan cepat dan efisien dilapangan. Salah satu alternatif adalah dengan menggunakan alat DCP (*Dynamic Cone Penetrometer*).

Berbeda dengan uji CBR laboratorium yang memiliki rangkaian prosedur pengujian yang panjang, pengujian dengan alat DCP tergolong singkat. Oleh karena itu, untuk mengantisipasi kekurangan dalam pengujian DCP, perlu dilakukan koreksi terhadap suatu pengujian CBR laboratorium. Selain itu, perbedaan kepadatan tanah dilapangan terkadang membuat nilai CBR yang didapat dari uji DCP kurang sesuai. Maka dari itu dilakukan pengujian DCP dan CBR yang dilakukan di laboratorium untuk mendapatkan persamaan baru yang lebih sesuai.

## **II. TINJAUAN PUSTAKA**

Tanah (*soil*) menurut Teknik Sipil dapat didefinisikan sebagai sisa atau produk yang dibawa dari pelapukan batuan dalam proses geologi yang dapat digali tanpa peledakan dan dapat ditembus dengan peralatan pengambilan contoh (*sampling*) pada saat pemboran (Hendarsin, 2000). Menurut (Rares, 2018), tanah merupakan bahan bangunan yang berasal dari alam, berupa bumi ini, yang terdiri dari air, udara dan butir-butir tanah yang padat, dimana bagian yang berisi dengan air dan udara disebut dengan rongga atau pori.

Sistem klasifikasi tanah adalah suatu sistem pengaturan beberapa jenis tanah yang berbeda-beda tapi mempunyai sifat yang serupa kedalam kelompok dan subkelompok berdasarkan pemakaiannya (Santoso, 2019). Sistem klasifikasi tanah dibuat dengan tujuan untuk memberikan informasi karakteristik dan sifat-sifat fisis tanah. Sistem klasifikasi mengelompokkan tanah ke dalam kategori yang umum dimana tanah memiliki kesamaan sifat fisik karena sifat dan perilaku tanah yang begitu beragam,

Pemadatan tanah didefinisikan sebagai proses naiknya kerapatan tanah dengan memperkecil jarak antar partikel sehingga terjadi reduksi volume udara tidak terjadi perubahan volume air yang cukup berarti pada tanah tersebut. Volume tanah akan berkurang, volume pori berkurang namun volume butir tidak berubah. Hal ini bisa dilakukan dengan menggilas atau menumbuk. Manfaat dari pemadatan tanah adalah memperbaiki beberapa sifat teknik tanah, memperbaiki kuat geser tanah yaitu menaikkan  $\phi$  dan  $C$  (memperkuat tanah), mengurangi kompreibilitas yaitu mengurangi penurunan oleh beban, dan Mengurangi permeabilitas.

Lapisan tanah yang akan dipakai sebagai lapisan *sub-base* atau *sub-grade* suatu konstruksi jalan pada umumnya memerlukan proses pemadatan sesuai yang direncanakan. Salah satu cara untuk mengatur kekokohan lapisan tanah adalah dengan pengujian *California Bearing Ratio* (CBR) (Budi, 2011). CBR didefinisikan sebagai perbandingan antara beban penetrasi suatu lapisan tanah atau perkerasan terhadap bahan standar dengan kedalaman dan kecepatan penetrasi yang sama. Pengujian CBR laboratorium bertujuan untuk menentukan nilai CBR tanah dengan tanah yang dipadatkan pada kadar air tertentu. Nilai CBR yang telah didapatkan akan menentukan nilai kepadatan lapisan tanah yang akan digunakan sebagai tanah timbunan.

Pengujian DCP dilakukan untuk mengetahui kuat hambatan tanah terhadap penetrasi dilapangan secara dinamis, khusus untuk tanah permukaan atau tanah dasar (*subgrade*), sampai kedalaman maksimum. Pengujian DCP dilakukan dengan mencatat jumlah tumbukan dan penetrasi dari konus dengan dimensi dan sudut tertentu melalui mistar. Kemudian pembacaan penetrometer diubah menjadi pembacaan yang setara nilai CBR dengan menggunakan grafik dan rumus. Prinsip kerja pada alat DCP ini, yaitu dengan menumbuk *coupling* dengan *hammer* dari ketinggian tertentu sehingga konus masuk kedalam tanah kemudian untuk mengetahui angka penetrasi dapat dilihat pada mistar.

*Sand cone* merupakan alat uji yang bertujuan untuk menguji derajat kepadatan lapangan tanah yang dilakukan dengan cara menggali lubang lalu mengisinya dengan pasir yang sudah diketahui berat isinya. Derajat kepadatan lapangan didefinisikan sebagai perbandingan antar berat isi kering tanah dilapangan dengan berat isi kering tanah di laboratorium yang dinyatakan dalam persen. Percobaan ini biasanya dilakukan untuk mengevaluasi hasil pekerjaan pemadatan di lapangan yang dinyatakan dalam derajat pemadatan yaitu perbandingan antara  $\gamma_d$  lapangan dengan  $\gamma_d$  maks. hasil percobaan pemadatan di laboratorium dalam persentase lapangan..

### III. METODE PENELITIAN

Pengambilan sampel tanah dilakukan secara langsung, sampel tanah yang berasal dari Kecamatan Teluk Ratai Kabupaten Pesawaran. Sampel tanah yang diambil adalah sampel tanah tidak terganggu (*undisturb*) dan sampel tanah terganggu (*disturbed*)



Gambar 1. Lokasi Peta Penelitian

Pengambilan sampel tanah dilakukan pada tiga titik yang berbeda. Untuk pengambilan sampel tanah tidak terganggu, digunakan tabung sampel lalu ditekan kedalam tanah sampai tabung penuh. Setelah penuh, angkat tabung dan tutup kedua ujung tabung agar kelembaban sampel terjaga. Sampel tanah tidak terganggu digunakan untuk pengujian kadar air, berat jenis dan berat volume. Sementara untuk pengambilan sampel tanah terganggu, dilakukan dengan mencangkul tanah dan memasukkannya kedalam karung. Sampel tanah terganggu digunakan untuk pengujian batas *atterberg*, analisis saringan, analisis hidrometer, dan pemadatan tanah dengan *proctor modified*. Selanjutnya sampel tanah yang telah diambil akan dilakukan pengujian di laboratorium untuk mengetahui jenis tanah tersebut.

Setelah dilakukan pengujian fisik dan mekanis, pada tahap selanjutnya akan dilakukan uji CBR dan DCP mould di laboratorium. Sementara untuk pengujian di lapangan, dilakukan uji DCP dan uji *sand cone*. Pengujian CBR di laboratorium menggunakan tiga variasi tumbukan yaitu 10, 25, dan 56 dengan menggunakan *proctor modified*. Setelah uji CBR selesai dilakukan, mould CBR akan dibalik agar sisi sebaliknya dapat digunakan untuk melaksanakan uji DCP mould.

Pengolahan data dilakukan setelah semua pengujian selesai dengan menggunakan bantuan program Microsoft Excel untuk mendapatkan korelasi CBR laboratorium dengan DCP mould dan CBR laboratorium dengan  $\gamma_d$  mould. Dengan begitu akan didapatkan dua persamaan yang akan diterapkan pada nilai DCP lapangan dan uji *sand cone*. Sehingga akan didapat dua nilai CBR yang akan dibandingkan dengan hasil CBR dari persamaan umum SNI DCP.

#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

##### 4.1 Pengujian Fisik

Tanah yang digunakan adalah tanah tak terganggu (*undisturbed*) dan tanah terganggu (*disturbed*) yang meliputi lima tahap pengujian sebelum pengecekan klasifikasi tanah. Lima pengujian itu yaitu pengujian kadar air, uji berat volume, uji berat jenis, dan uji batas *Atterberg*. Hasil pengujian tersebut dapat dilihat pada tabel 1.

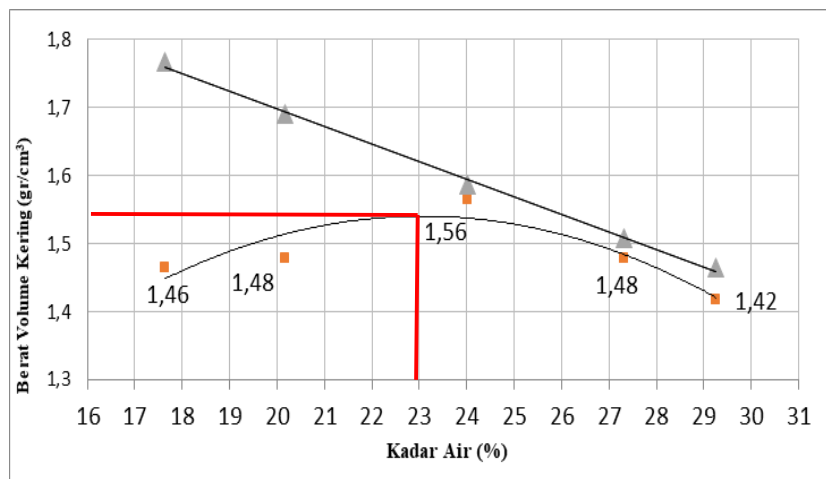
Tabel 1. Data Hasil Pengujian Sifat Fisik Sampel Tanah

No	Jenis Pengujian	Hasil Pengujian
1	Kadar air (%)	29,67%
2	Berat Volume ( $\gamma$ )	1,94 gr/cm <sup>3</sup>
3	Berat Jenis (Gs)	2,57
4	Batas <i>Atterberg</i> :	
	a. Batas Cair (LL)	48,01%
	b. Batas Plastis (PL)	30,08%
	c. Indeks Plastisitas (PI)	17,93%
5	Analisa Saringan	
	a. Lolos saringan no.4	79,38%
	b. Lolos saringan no.200	0,77%

Setelah melihat hasil dari pengujian sifat fisik seperti yang ditampilkan pada Tabel 1, dapat diidentifikasi dan mengklasifikasikan tanah berdasarkan golongannya. menurut *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO) dengan data hasil uji batas *Atterberg* yang didapat yaitu batas cair (LL) sebesar 48,01%, batas plastis (PL) yaitu sebesar 33,08%, dan indeks plastisitas (PI) sebesar 17,93%, maka tanah dari Kecamatan Teluk Ratai, Pesawaran, digolongkan sebagai kelompok tanah dengan jenis tanah pasir halus berlanau.

##### 4.2 Pengujian Pemadatan Tanah

Pengujian pemadatan tanah bertujuan untuk menentukan kepadatan maksimum suatu jenis tanah dengan cara tumbukan. Uji pemadatan tanah secara tumbukan dilakukan sebanyak 2 kali dengan sampel tanah lolos saringan no.4 menggunakan metode *modified proctor*, dengan sebelumnya dilakukan uji dengan 5 sampel untuk mencari nilai kadar air optimum. Hasil dari pemadatan *modified proctor* akan dijadikan sebagai tolak ukur untuk membandingkan kepadatan tanah dengan nilai CBR. Dari hasil uji pengujian didapat hasil pemadatan tanah yaitu berat volume kering maksimum sebesar 1,54 gr/cm<sup>3</sup> dan nilai kadar air optimum sebesar 22,95 %. Pada Gambar 6 akan dijelaskan hubungan antara berat volume kering dengan kadar air pada sampel tanah.



Gambar 2. Hubungan Berat Volume Kering dengan Kadar Air Sampel Tanah

#### 4.2 CBR Laboratorium

Pengujian dilakukan pada tiga titik lokasi sampel yang diuji dengan kadar air optimum yang sudah didapat sebesar 22,95 % dan jumlah tumbukan yang dipakai memiliki tiga variasi yaitu 10 tumbukan, 25 tumbukan, 56 tumbukan. Adapun hasil yang didapat dari pengujian adalah sebagai berikut:

Tabel 2. Rekap Hasil Perhitungan Nilai CBR

Nama Titik	Nilai CBR (%)		
	Variasi Tumbukan		
	10	25	56
Titik 1	13,62	20,83	27,23
Titik 2	11,21	18,69	25,63
Titik 3	10,41	19,22	25,63

Dari perhitungan CBR laboratorium didapatkan juga nilai  $\gamma_d$ , dengan hasil sebagai berikut :

Tabel 3. Rekap Hasil Perhitungan Nilai  $\gamma_d$

Nama Titik	Nilai $\gamma_d$ (gr/cm³)		
	Variasi Tumbukan		
	10	25	56
Titik 1	1,41	1,55	1,75
Titik 2	1,27	1,48	1,55
Titik 3	1,28	1,51	1,65

#### 4.3 DCP Laboratorium (Mould)

Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan mould yang sama dengan uji CBR sebelumnya. Setelah dilakukan uji CBR, mould kemudian dibalik untuk dilakukan uji DCP pada sisi mould yang lainnya. Berikut merupakan hasil dari pengujian DCP yang telah dilakukan :

Tabel 4. Rekap Hasil Perhitungan Nilai DCP Mould

Nama Titik	Nilai DCP (mm/tumbukan)		
	Variasi Tumbukan		
	10	25	56
Titik 1	25,72	11,70	11,00
Titik 2	21,86	19,50	16,50
Titik 3	29,17	16,36	15,36

#### 4.4 Pengujian Lapangan

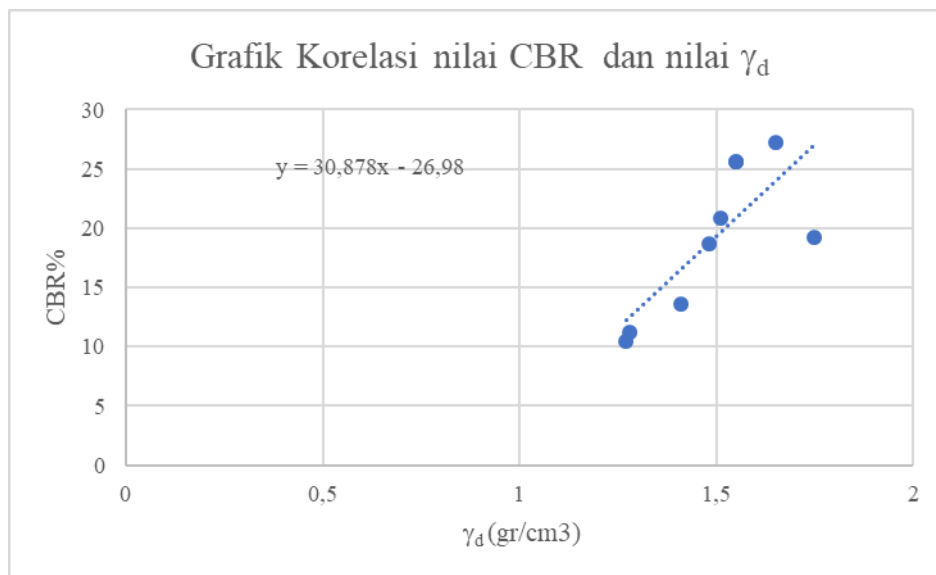
Pada pengujian lapangan dilakukan uji DCP dan uji *sandcone*. Uji DCP bertujuan untuk mendapatkan data nilai DCP (mm/tumbukan) yang nantinya akan didapatkan nilai CBR dengan memasukan nilai DCP pada persamaan. Sementara uji *sandcone* dilakukan untuk mendapatkan data nilai derajat kepadatan tanah untuk dimasukan dalam persamaan korelasi. Berikut ini data hasil uji DCP lapangan dan uji *sandcone*

Tabel 5. Hasil Pengujian DCP dan *Sandcone* lapangan

Nilai DCP (mm/tumbukan)			Nilai $\gamma_d$ (gr/cm <sup>3</sup> )		
Titik 1	Titik 2	Titik 3	Titik 1	Titik 2	Titik 3
29,5	48,5	46,5	1,1551	1,0706	1,0768

#### 4.5 Korelasi Nilai CBR Laboratorium dengan $\gamma_d$

Dari hasil yang sudah didapat dalam pengujian CBR laboratorium dapatkan nilai CBR laboratorium dan  $\gamma_d$  laboratorium dalam mould disetiap variasi tumbukan. Kedua data tersebut akan dikorelasikan dalam bentuk grafik untuk mendapatkan persamaan. Korelasi ini dijelaskan hubungan antara nilai CBR Laboratorium dengan  $\gamma_d$  dengan grafik pada sumbu x sebagai  $\gamma_d$  dan sumbu y sebagai CBR, yang dijelaskan dalam grafik berikut :



Gambar 3. Grafik Nilai CBR Laboratorium dan  $\gamma_d$

Dari hasil grafik olah data diatas pada sumbu x sebagai  $\gamma_d$  dan sumbu y sebagai CBR, didapatkan persamaan sebagai berikut :

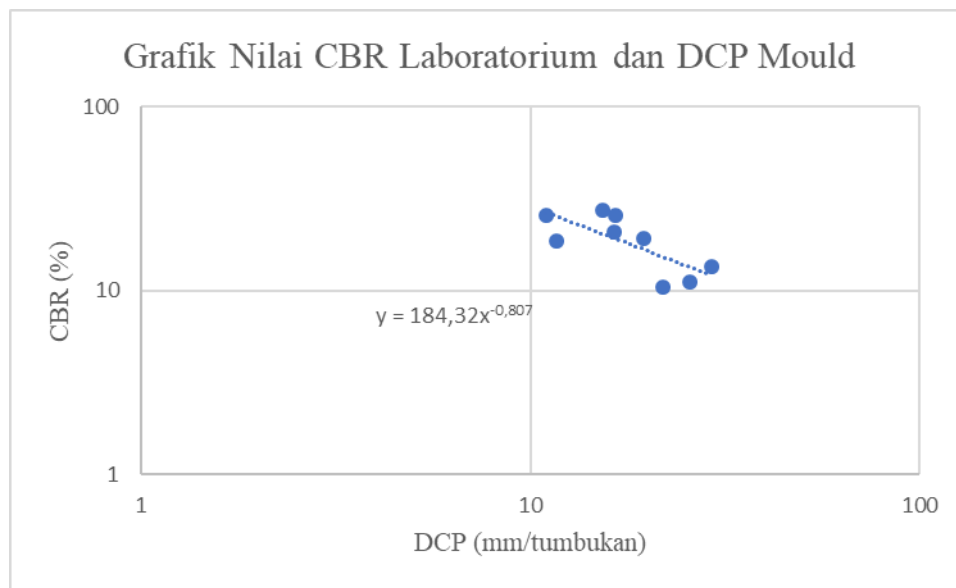
$$y = 30,878x - 26,98 \quad (1)$$

Dengan menggunakan persamaan diatas maka dapat diketahui nilai CBR dengan menggunakan nilai  $\gamma_d$  tanah lalu dalam persamaan tersebut bisa dimasukan dengan x adalah nilai  $\gamma_d$  dan y adalah nilai CBR

#### 4.6 Korelasi Nilai CBR Laboratorium dengan DCP Laboratorium

Dari pengujian yang sudah dilakukan telah didapat nilai CBR laboratorium dan nilai DCP dalam mould disetiap variasi tumbukan. Dari kedua data yang didapatkan, kemudian dikorelasikan dalam bentuk grafik agar didapatkan bentuk persamaan. Korelasi ini menjelaskan hubungan antara nilai CBR Laboratorium dengan DCP mould yang dijelaskan dalam grafik berikut :





Gambar 4. Grafik Nilai CBR dan DCP Laboratorium

Dari hasil grafik olah data diatas pada sumbu x sebagai DCP dan sumbu y sebagai CBR, didapatkan persamaan sebagai berikut :

$$CBR = y = 184,32 x^{-0,807} \quad (2)$$

yang bisa juga ditulis dengan :

$$\log(CBR) = 2,26557 - 0,807 \log(DCP) \quad (3)$$

#### 4.6 Nilai Korelasi Laboratorium dan Lapangan

Setelah dilakukan pengujian Laboratorium dan Lapangan, langkah selanjutnya adalah mencari tahu nilai manakah yang lebih mendekati nilai CBR dari persamaan  $\gamma_d$  yang didapat dari Laboratorium. Nilai CBR dari persamaan  $\gamma_d$  mould menjadi pembanding karena dianggap nilai tersebut adalah nilai yang paling akurat dengan mempertimbangkan bahwa nilai  $\gamma_d$  mould diambil dari sampel dengan tumbukan dan kadar air *optimum*. Pada tahap ini nilai yang didapat pada pengujian lapangan akan dimasukkan kedalam persamaan korelasi yang telah dibuat. Langkah pertama adalah memasukan nilai  $\gamma_d$  yang didapatkan dari pengujian *sand cone* lapangan kedalam persamaan korelasi CBR dan  $\gamma_d$  Laboratorium, sehingga didapat nilai CBR hasil korelasi berikut:

Tabel 6. Nilai CBR Hasil Korelasi dari Nilai  $\gamma_d$  Sand Cone (Lapangan)

Titik	$\gamma_d$	CBR (%)
1	1,155	8,69
2	1,071	6,08
3	1,077	6,27

Langkah selanjutnya adalah memasukkan nilai DCP (mm/tumbukan) lapangan pada korelasi persamaan CBR laboratorium dan DCP mould, sehingga didapat nilai CBR hasil korelasi berikut :

Tabel 7. Nilai CBR Hasil Korelasi dari Nilai DCP (mm/tumbukan) Lapangan

Titik	DCP (mm/tumbukan)	CBR (%)
1	29,5	12,01
2	48,5	8,04
3	46,5	8,32

#### 4.6 Perbandingan Nilai CBR

Setelah dihitung, terdapat beberapa nilai CBR yang didapat. Dengan membandingkan nilai CBR Lapangan hasil DCP (mm/tumbukan), CBR hasil persamaan SNI dan dengan nilai CBR Lapangan hasil  $\gamma_d$ , maka didapatkan perbandingan :

Tabel 8. Perbandingan Nilai CBR yang didapat

Titik	Nilai CBR korelasi dari $\gamma_d$ Lapangan	Nilai CBR hasil korelasi dari DCP Lapangan	Nilai CBR dengan menggunakan persamaan dari Surat Edaran Menteri	Deviasi Nilai CBR korelasi DCP Lapangan terhadap Nilai CBR dari $\gamma_d$	Deviasi Nilai CBR dari Surat Edaran Menteri terhadap Nilai CBR dari $\gamma_d$
1	8,69	12,01	7,71	3,37	0,98
2	6,08	8,04	3,98	1,96	2,10
3	6,27	8,32	4,27	22,12	2,00

Berdasarkan tabel diatas, didapatkan hasil dari nilai CBR hasil korelasi dari DCP dilapangan lebih besar dibandingkan dengan nilai CBR menggunakan Surat Edaran Menteri. Sedangkan deviasi dengan nilai CBR Lapangan hasil  $\gamma_d$ , nilai CBR hasil korelasi dari DCP dilapangan memiliki nilai yang lebih tinggi.

#### V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan diatas, dapat ditarik kesimpulan korelasi hasil yang didapatkan antara nilai CBR laboratorium dan  $\gamma_d$  laboratorium menghasilkan persamaan  $y = 30,878x - 26,98$ . Dari hasil persamaan korelasi tersebut dapat ditarik kesimpulan bahwa pada setiap 1% nilai CBR setara dengan  $0,2565 \text{ gr/cm}^3$  nilai  $\gamma_d$ . Hasil korelasi antara nilai CBR laboratorium dan DCP mould menghasilkan persamaan  $\text{Log (CBR)} = 2,26557 - 0,807 \text{ Log (DCP)}$ .

Berdasarkan hasil perbandingan nilai CBR yang didapat, diketahui bahwa hasil nilai CBR hasil korelasi DCP dilapangan dengan nilai CBR dengan menggunakan persamaan SNI tidaklah sama. Nilai CBR hasil korelasi DCP dilapangan memiliki hasil yang lebih tinggi dengan nilai pada titik 1 sebesar 12,01%, titik 2 sebesar 8,04%, titik 3 sebesar 8,32%.

Sedangkan nilai CBR dengan menggunakan persamaan SNI memiliki nilai 7,71% pada titik1, 3,98 pada titik 2, dan 4,27 pada titik 3.

#### **DAFTAR PUSTAKA**

Budi, 2011. *Pengujian Tanah Di Laboratorium Penjelasan dan Panduan*. Yogyakarta: Graha Ilmu.

Hendarsin, 2000. *Penuntun Praktis Perencanaan Teknik Jalan Raya*. Bandung: Politeknik Negeri Bandung.

Rares, 2018. Pengaruh Muka Air Tanah Terhadap Bukaan Terowongan (Studi Kasus: Terowongan Jalan Utama Ring Road). *Jurnal Sipil Statik*, 6, 983 – 994.

Santoso, 2019. *Analisis Tanah Lempung Ekspansif Surabaya Menggunakan Bahan Stabilisasi Abu Jerami*. Surabaya: Universitas 17 Agustus 194.

